บทความวิจัย

ผลของอุณหภูมิและชนิดของสารละลายที่มีต่อการลอกล่อนของแล็กเกอร์ในกระป๋องอาหารด้วยการทดสอบทางเคมีไฟฟ้า

ธรรมรัตน์ นิลยี่เรือ ยุทธนา ศิริรัตน์ และ ณรงค์ ผังวิวัฒน์*
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
นพรัต กาญจนประยุธ
ฝ่ายเทคโนโลยีการกัดกร่อน สถาบันวัตกรรมเทคโนโลยีไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 02-555-2000 ต่อ 4819 อีเมล: npw@kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.005
รับเมื่อ 10 ตุลาคม 2559 ตอบรับเมื่อ 28 เมษายน 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 8 มกราคม 2561
© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและชนิดของสารละลายต่อการลอกล่อนของแล็กเกอร์สำหรับพัฒนาวิธีการตรวจสอบแล็กเกอร์ที่เคลือบโลหะในอุตสาหกรรมกระป๋อง ให้สามารถใช้เวลาในการทดสอบที่รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้นโดยจะนำเทคนิค ACET หรือ AC/DC/AC ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม ควบคู่ไปกับการตรวจสอบด้วยค่าประจุไฟฟ้าแอโนดิก และประจุไฟฟ้าแคโทดิก จากเทคนิคโพเทนชิโอสแตติก ทำโดยการตรวจสอบสภาพของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ด้วยเทคนิค EIS (AC) และแอโนดิกโพลาไรเซชัน จากนั้นทำการทดสอบด้วยเทคนิค แคโทดิกดีลามิเนชัน (DC) พร้อมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ แล้วศึกษาด้วยเทคนิค EIS และแอโนดิกโพลาไรเซชันอีกครั้ง ชิ้นงานที่ศึกษาในโครงงานนี้คือ กระป๋องเคลือบดีบุกเคลือบด้วยแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล กระป๋องเคลือบดีบุกเคลือบด้วยแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก และกระป๋องเคลือบดีบุกเคลือบด้วยแล็กเกอร์ออร์แกโนซอล สารละลายที่ใช้ทดสอบคือ สารละลาย 1% w/v โซเดียมคลอไรด์ สารละลายผสม 1% w/v โซเดียมคลอไรด์กับ 1% w/v โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และสารละลายผสม 1% w/v โซเดียมคลอไรด์กับ 1% w/v โซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบคือ อุณหภูมิห้อง 40, 60 และ 80°C โดยเทคนิค EIS ที่ใช้เป็นระบบอิเล็กโทรดสามขั้ว เทคนิคแคโทดิกดีลามิเนชัน เป็นการป้อนศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง –6 โวลต์ เป็นเวลา 10 นาที ส่วนเทคนิคแอโนดิกโพลาไรเซชัน เป็นการป้อนไฟฟ้ากระแสตรง +6 โวลต์ เป็นเวลา 5 วินาที ค่าประจุไฟฟ้าแอโนดิก และประจุไฟฟ้าแคโทดิกและภาพถ่ายจากกล้องมือถือให้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยเทคนิค EIS จากผลการทดลองพบว่าผลของอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการลอกล่อนของแล็กเกอร์อีพอกซี-ฟีนอลิกเริ่มที่อุณหภูมิห้อง ส่วนของแล็กเกอร์ออแกโนซอลเริ่มที่ 40°C ขณะที่ของแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออแกโนซอลเริ่มที่ 80°C ส่วนสารลายละลายที่ทำให้แล็กเกอร์เกิดการลอกล่อนมากที่สุดคือ สารละลายผสม 1% w/v โซเดียมคลอไรด์กับ 1% w/v โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล็กเกอร์ที่เกิดความเสียหายน้อยที่สุดคือ แล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล

คำสำคัญ: การลอกล่อนของแล็กเกอร์, แคโทดิกดีลามิเนชัน, ประจุไฟฟ้าแอโนดิก

การอ้างอิงบทความ: ธรรมรัตน์ นิลยี่เรือ ยุทธนา ศิริรัตน์ ณรงค์ ผังวิวัฒน์ และ นพรัต กาญจนประยุธ, "ผลของอุณหภูมิและชนิดของสารละลายที่มีต่อการลอกล่อนของแล็กเกอร์ในกระป๋องอาหารด้วยการทดสอบทางเคมีไฟฟ้า," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,* ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, หน้า 207–216, ม.ค.–มี.ค. 2561.

-17-0000(207-216)P5.indd 207 4/10/61 BE 2:33 PM

Research Article

Effect of Temperature and Type of Solutions on Lacquer Delamination of Food Can by Electrochemical Methods

Thammarat Nilyeeruea, Yutthana Sirirat and Narong Pungwiwat*

Department of Industrial Chemistry, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

Noparat Kanjanaprayut

Corrosion Technology Department, Thai-French Innovation Institute, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author, Tel. 02-555-2000 Ext. 4819, E-mail: npw@kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.005

Received 10 October 2016; Accepted 28 April 2017; Published online: 8 January 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The aim of this research was to investigate the effect of temperature and type of solutions on delamination of lacquer and to develop analytical method for industry of lacquer delamination coated can. It would be rapid and more precision method by using technique called "ACET" or AC/DC/AC method which is widely used in many industries. This technique was used with anodic and cathodic charge determination by potentiostatic method. The first was done by examination of lacquered can by EIS (AC) and anodic polarization technique followed by cathodic delamination (DC) with heating at different temperatures. EIS and anodic polarization technique were used again. Samples used in this study were tinplate can coated with polyester/organosol, tinplate can coated with epoxy phenolic and tinplate can coated with organosol. Solutions used as electrolytes were 1% w/v sodium chloride, 1% w/v sodium chloride mixed with 1% w/v sodium metabisulfite and 1% w/v sodium chloride mixed with 1% w/v sodium hydroxide. Testing temperatures were room temperature, 40°C, 60°C and 80°C. EIS technique was studied by three electrode system. Cathodic delamination was done by applied –6 V (DC) for 10 minutes but anodic polarization was performed at +6V (DC) for 5 seconds. Anodic charges, cathodic charges and images from mobile phone were consistent with results from EIS technique. It was found that lacquer delamination of epoxy-phenolic resin started at room temperature while delamination of organosol occurred at 40°C but polyester/organosol delamination appeared at 80°C. Solution which mostly affects delamination is 1% w/v sodium chloride mixed with 1% w/v sodium hydroxide. The best lacquer coating which were least damage is polyester/organosol.

Keywords: Lacquer Delamination, Cathodic Delamination, Anodic Charge

Please cite this article as: T. Nilyeeruea, Y. Sirirat, N. Pungwiwat, and N. Kanjanaprayut, "Effect of temperature and type of solutions on lacquer delamination of food can by electrochemical methods," *The Journal of KMUTNB,* vol. 28, no. 1, pp. 207–216, Jan.–Mar. 2018 (in Thai).

-17-0000(207-216)P5.indd 208 4/10/61 BE 2:33 PM

1. บทนำ

ในปัจจุบัน อาหารกระป๋องมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของคนไทยอย่างมาก ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตอาหารกระป๋องเพิ่มสูงขึ้น เพื่อสนองความต้องกาผลิตภัณฑ์ของตลาด และเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญลำดับต้นๆ ของประเทศไทย และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความหลากหลายทางด้านอาหารจึงทำให้มีการผลิตเพื่อส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศเพิ่มขึ้น เรื่องของคุณภาพอาหารนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างแรกที่ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงซึ่งกว่าจะถึงมือผู้บริโภคนั้น จะต้องผ่านขั้นตอนมากมายและอาจใช้เวลานานเพราะฉะนั้นอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหาร (Shelf Life) จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก โดยการเกิดการพอง (Blister) และการลอกล่อน (Delamination) เป็นอีกสาเหตุที่ทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์นั้นสั้นลง ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารกระป๋องวัสดุที่นิยมใช้มีอยู่สองประเภท คือ Tinplate (TP) และ Tin Free Steel (TF) โดยที่วัสดุดังกล่าวจะถูกเคลือบไว้ด้วยสารเคลือบที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic Coating) ประเภทแล็กเกอร์ (Lacquer) [1] เช่น อีพอกซี-ฟินอลิก (Epoxy-phenolic) ออร์แกโนซอล (Organosols) และพอลิเอสเตอร์ (Polyester) เป็นต้น เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของอาหารที่บรรจุกับตัวกระป๋อง จึงทำให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มขึ้นแต่อาหารที่ส่วนประกอบต่างกันก็จะมีสภาพที่ต่างกัน อาหารบางชนิดอาจมีสภาพเป็นกรด มีสภาพเป็นเกลือ หรือมีสภาพเป็นเบส ซึ่งในแต่ละสภาพนั้นก็จะทำให้แล็กเกอร์ที่เคลือบไว้เกิดการพองและลอกล่อน และปัจจัยที่ทำให้เกิดการลอกล่อนและการพองของแล็กเกอร์ที่สำคัญอีกหนึ่งปัจจัยคืออุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิต่างกันจะทำให้แล็กเกอร์ที่เคลือบไว้เกิดการพองและลอกล่อนในระยะเวลาที่ต่างกันได้ด้วย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นการนำเทคนิคทางเคมีไฟฟ้ามาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการลอกล่อนของแล็กเกอร์ เพื่อนำไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมกระป๋องให้มีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาคุณภาพอาหารยิ่งขึ้น โดยที่เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าให้ผลที่รวดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่เคยใช้กันมา เช่น เทคนิคการสเปรย์เกลือ (Salt Spray Method) เทคนิค ACET นี้จึงเป็นที่สนใจและได้มีการศึกษากันมาระยะหนึ่งแล้วในต่างประเทศ แต่ในการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการลอกล่อนของแล็กเกอร์ยังมีไม่มากนัก [2], [3]

อนึ่งเพื่อให้การวิจัยนี้เกิดประโยชน์กว้างขวางขึ้น คณะผู้วิจัยจึงมีการสอดแทรกการศึกษาทางเคมีไฟฟ้าอย่างอื่นที่นอกเหนือจากเทคนิค ACET ด้วยโดยใช้เทคนิคแอโนดิคโพลาไรเซชันติดตามพฤติกรรมการลอกล่อนควบคู่ไปด้วยเนื่องจากเทคนิค EIS ยังไม่แพร่หลายมากนักในวงการอุตสาหกรรมของไทย

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการศึกษาค่า Tg ของแล็กเกอร์

นำตัวอย่างแล็กเกอร์ที่ติดอยู่กับกระป๋องอาหารไปตรวจสอบค่า Tg โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

2.2 สารละลายที่ใช้ในงานวิจัย

1) สารละลาย 1% w/v โซเดียมคลอไรด์ ใช้เป็นสารละลายจำลองแทนอาหารกระป๋องที่เป็นอาหารทะเล

2) สารละลายผสม 1% w/v โซเดียมคลอไรด์กับ 1% w/w โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ใช้แทนอาหารที่มีการเติมเกลือหรือซอสและสารกันบูด

3) สารละลายผสม 1% w/v โซเดียมคลอไรด์กับ 1% w/w โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ศึกษาความรุนแรงของสารประเภทด่างที่มีเกลืออยู่ด้วยต่อการลอกล่อนของแล็กเกอร์

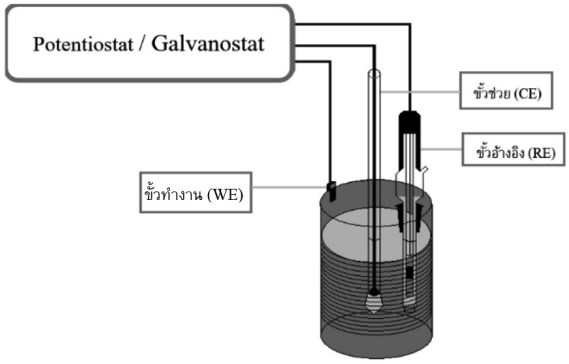
2.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท โลหะกิจรุ่งเจริญทรัพย์ และมีการเคลือบ 3 ชนิดคือ 1) กระป๋องเคลือบดีบุกที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออแกโนซอล 2) กระป๋องเคลือบดีบุกที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก 3) กระป๋องเคลือบดีบุกที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ออแกโนซอล

1) ตัดก้นกระป๋องออกด้วยที่เปิดกระป๋อง

2) ทากาวยาแนวบริเวณขอบฝากระป๋อง

-17-0000(207-216)P5.indd 209 4/10/61 BE 2:33 PM



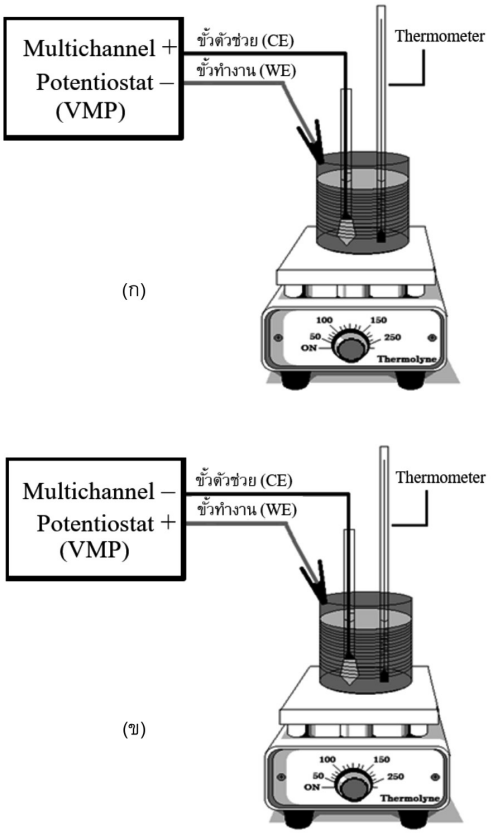
รูปที่ 1 การต่อขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบเทคนิค EIS

3) ติดฝากับก้นกระป๋อง
4) เช็ดกาวที่เหลือออก
5) รอให้กาวแห้ง
6) เทสารละลายทดสอบใส่ลงในกระป๋อง 300 mL

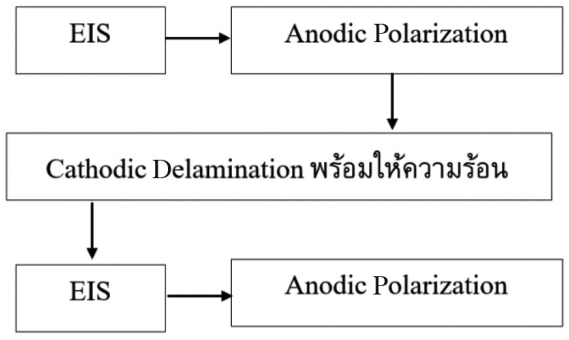
2.4 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า

ใช้แผ่นโลหะทำกระป๋องเป็นขั้วทำงาน Ag-AgCl Electrode เป็นขั้วอ้างอิง และแผ่น Platinum เป็นขั้วช่วย เพื่อศึกษาสมบัติการยึดเกาะของแล็กเกอร์ด้วยเทคนิค ACET ตามรูปที่ 1

การทดสอบจะเริ่มจากเทคนิค EIS โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ช่วงความถี่ 100,000 Hz ถึง 0.01 Hz แอมพลิจูด 0.02 V ทำการวัด Open Circuit Potential 120 วินาที และตามด้วยเทคนิคแคโทดิกดีลามิเนชัน (DC) เป็นการจ่ายศักย์ไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ชิ้นงาน เพื่อกระตุ้นให้เกิดการลอกล่อนโดยใช้เครื่อง Potentiostat Test Unit ของ Radikos รุ่น PTU 1.0 โดยจะทำการป้อนศักย์ไฟฟ้าให้กับชิ้นงานที่ –6 โวลต์ เป็นเวลา 10 นาที หลังจากศึกษาด้วย DC แล้ว ชิ้นงานจะถูกนำมาศึกษาด้วยเทคนิค EIS อีกครั้งเพื่อตรวจสอบผลของการทำ DC แล้วยังมีการทดสอบแบบแอโนดิกโพลาไรเซชันอีก 5 วินาที โดยแสดงการต่อขั้วไฟฟ้าดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การต่อขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบของเทคนิค (ก) แคโทดิกดีลามิเนชันและ (ข) แอโนดิกโพลาไรเซชัน

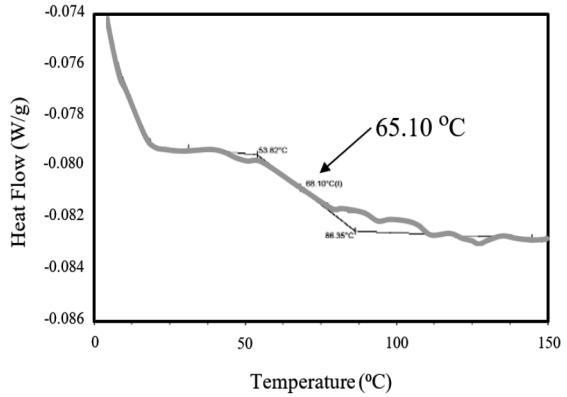


รูปที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบ

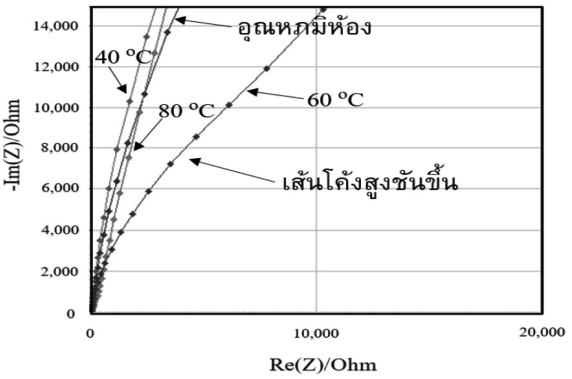
2.5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การทำแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อน ขั้นตอนการทดสอบแสดงในรูปที่ 3 หลังจากผ่านการทดสอบแล้ว กระป๋องจะถูกนำมาตัดออกแล้วถ่ายภาพแสดงความเสียหาย

-17-0000(207-216)P5.indd 210 4/10/61 BE 2:33 PM



รูปที่ 4 กราฟเทอร์โมแกรมของแล็กเกอร์ออร์แกโนซอล



รูปที่ 5 กราฟไนควิสของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ อิพ็อกซี-ฟีนอลิกในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์ ก่อนการทำแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อน

แล็กเกอร์ที่สามารถทดสอบหาค่า Tg ได้มีเพียงออร์แกโนซอลเท่านั้น (รูปที่ 4) ส่วนของแล็กเกอร์ชนิดอื่นๆ นั้นได้จากการทบทวนวรรณกรรม [4] แสดงในตารางที่ 1 ค่า Tg ที่ได้จากการทดลองกับค่า Tg จากวรรณกรรม [4]

ตารางที่ 1 ค่า Tg (Glass Transition Temperature)

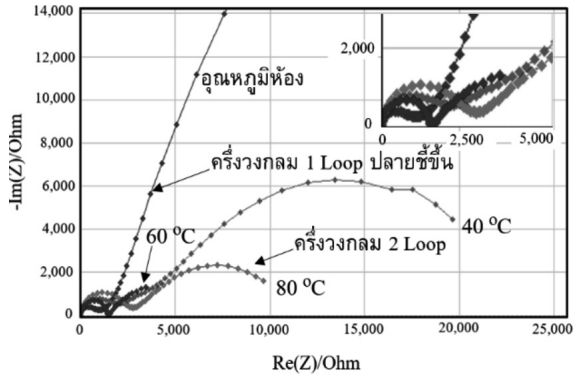
ชนิดแล็กเกอร์	Tg ที่วัดได้ (˚C)	Tg จากวรรณกรรม [4] (˚C)
พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล	–	80–87
ออร์แกโนซอล	65.10	87
อีพ็อกซี-ฟีนอลิก	–	71.61

3.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมชิ้นงานด้วยเทคนิค EIS

3.2.1 กราฟไนควิส (Nyquist)

ผลการทดสอบด้วยเทคนิค EIS พบว่าลักษณะกราฟไนควิสมีด้วยกัน 3 ลักษณะ

1) ลักษณะของเส้นกราฟเป็นเส้นตรงที่มีความโค้งน้อยๆ ซึ่งลักษณะกราฟเช่นนี้บ่งบอกถึงว่าการละลายยังไม่สามารถที่จะแพร่ผ่านชั้นผิวเคลือบ (แล็กเกอร์) ได้ [5] โดยส่วนใหญ่ลักษณะของกราฟไนควิสของเทคนิค EIS ก่อนการทำแคโทดิกดีลามิเนชัน พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

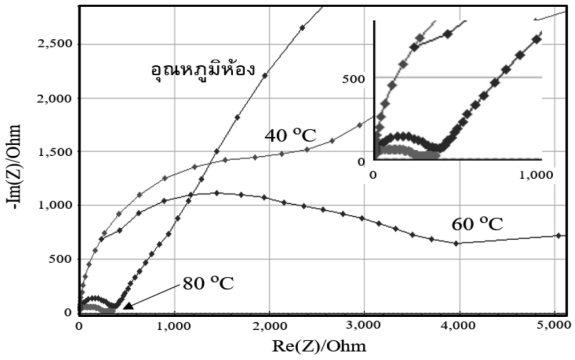


รูปที่ 6 กราฟไนควิสของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล ในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์ หลังการทำแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อน

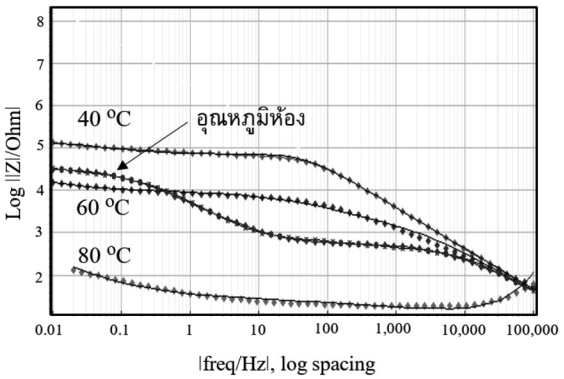
ของทุกแล็กเกอร์ ในสารละลายทั้งสามชนิดมีลักษณะเช่นนี้ทั้งหมด (รูปที่ 5)

2) ลักษณะของเส้นกราฟเป็นครึ่งวงกลม 1 Loop แล้วมีปลายชี้ขึ้น (รูปที่ 6) ซึ่งลักษณะกราฟเช่นนี้บ่งบอกถึงสารละลายเริ่มสามารถที่จะแพร่หรือแพร่ผ่านชั้นผิวเคลือบ (แล็กเกอร์) ได้แล้ว แต่อาจยังแพร่ไม่ถึงชั้นโลหะซึ่งจะพบกราฟลักษณะนี้ในการทำ EIS หลังการทำแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของกระป๋องเคที่เคลือบ

-17-0000(207-216)P5.indd 211 4/10/61 BE 2:33 PM



รูปที่ 7 กราฟไนควิสของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมเตาไบซัลไฟต์ หลังทำแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อน



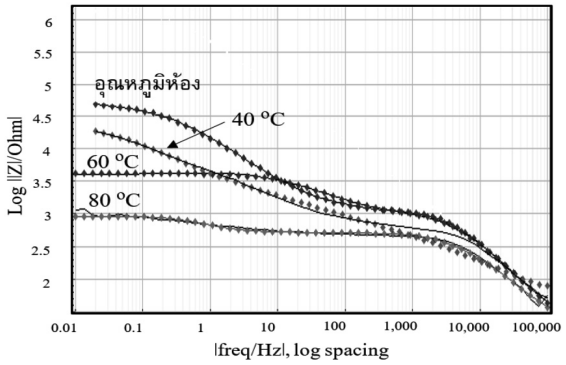
รูปที่ 8 กราฟโบดของกระป๋องเคลือบดีบุกที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอลในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังการแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อน

ด้วยแล็กเกอร์โพลีเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล ในทั้งสามชนิดของสารละลาย ในการทดสอบที่อุณหภูมิสูง ส่วนในแล็กเกอร์ออร์แกโนซอล และอีพ็อกซี-ฟีนอลิก มักพบกราฟลักษณะนี้ในทุกสารละลายแม้ทดสอบที่อุณหภูมิต่ำๆ ซึ่งแสดงว่าการทำ DC พร้อมให้ความร้อนของแล็กเกอร์นี้จะทำให้เริ่มมีการแทรกซึมของสารละลายเข้าสู่ชั้นโลหะหรือผิวรอยต่อของแล็กเกอร์กับโลหะ

3) ลักษณะของเส้นกราฟเป็นครึ่งวงกลม 2 Loop ต่อกัน (รูปที่ 6 และ 7) ลักษณะของกราฟไนควิส เช่นนี้ ใน Loop ที่ 1 นั้นบอกถึงสารละลายสามารถแพร่ผ่านชั้นแล็กเกอร์ได้แล้ว ส่วนใน Loop ที่ 2 บ่งบอกถึงการมีกระบวนการถ่ายเทประจุเกิดขึ้น [6] ซึ่งแสดงว่าเกิดกระบวนการกัดกร่อนเกิดขึ้นภายใต้ชั้นเคลือบ จะพบกราฟลักษณะนี้ในการทำ EIS ครั้งที่ 2 ของกระป๋องที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2.2 กราฟโบด (Bode Plot)

จากการทดสอบด้วยเทคนิค EIS และพล็อตกราฟแบบโบดสำหรับระบบที่มี 2 Loop พบว่าส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่า Rpo ที่ลดลงตามอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบตามรูปที่ 8 และ 9 พบว่าหลังการทำแคโทดิกดีลานิเนชัน พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วงความถี่

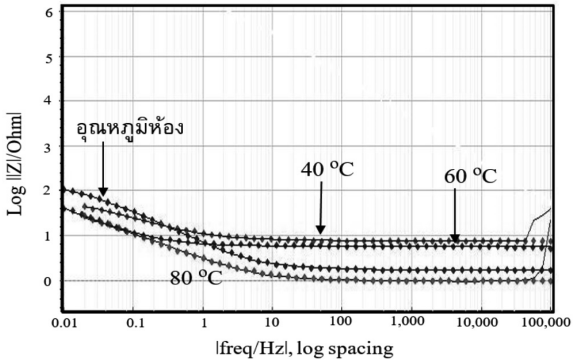


รูปที่ 9 กราฟโบดของกระป๋องเคลือบดีบุกที่เคลือบด้วยแล็กเกอร์ออร์แกโนซอล ในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์หลังการแคโทดิกดีลามิเนชัน พร้อมให้ความร้อน

1 Hz ถึง 10,000 Hz พบว่าส่วนใหญ่แนวโน้มของค่าอิมพิแดนซ์จากกราฟโบด ซึ่งแสดงสมบัติของค่าความต้านทานของแล็กเกอร์นั้น เมื่อผ่านกระบวนการแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อน มีแนวโน้มที่ลดลงตามอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ

กระป๋องเคลือบแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออแกโนซอล มีการลดลงของความต้านทานของแล็กเกอร์อย่างมากเฉพาะในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียม

-17-0000(207-216)P5.indd 212 4/10/61 BE 2:33 PM



รูปที่ 10 กราฟโบด ของกระป๋องเคลือบด้วยแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังการทำแคโทดิกดีลามิเนชันพร้อมให้ความร้อน

ไฮดรอกไซด์เท่านั้น และโดยเฉพาะที่ 80°C ด้วย (รูปที่ 8)

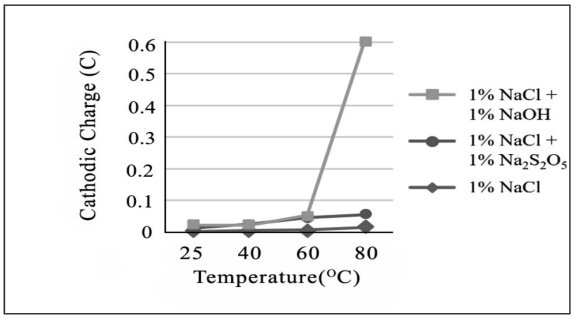
กระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ออร์แกโนซอล มีการลดลงของความต้านทานของแล็กเกอร์อย่างเห็นได้ชัดในสารละลายระหว่าง 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ 80°C ส่วนในสารลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าความต้านทานลดลงช่วงอุณหภูมิ 40°C ขึ้นไป แต่ในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์ มีค่าความต้านทานลดลงประมาณ 2–3 โอห์ม (รูปที่ 9)

กระป๋องเคลือบแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิกในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์ ค่าความต้านทานของแล็กเกอร์ลดลงตั้งแต่อุณหภูมิ 40°C แต่ในสารละลายอีก 2 ชนิด ค่าความต้านทานของแล็กเกอร์ลดลงตั้งแต่อุณหภูมิห้องเป็นต้นไป (รูปที่ 10)

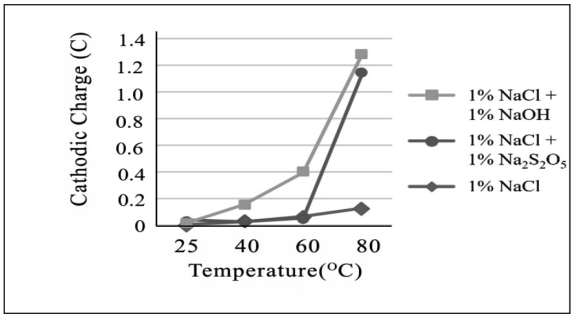
3.3 ผลการเปรียบเทียบค่าประจุไฟฟ้าแคโทดิก

จากการให้ศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง –6 โวลต์ กับตัวกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ ในสารละลายต่างๆ ในอุณหภูมิที่ต่างกันทำให้ ตัวกระป๋องซึ่งเป็นขั้วทำงาน มีความเป็นขั้วลบ ทำให้ประจุบวกในสารละลายหรือน้ำ เข้ามาเกาะที่ผิวหน้าเพื่อมารับอิเล็กตรอนจากผิวโละ ตามสมการที่ (1)

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^- \qquad (1)$$



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าแคโทดิกของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล

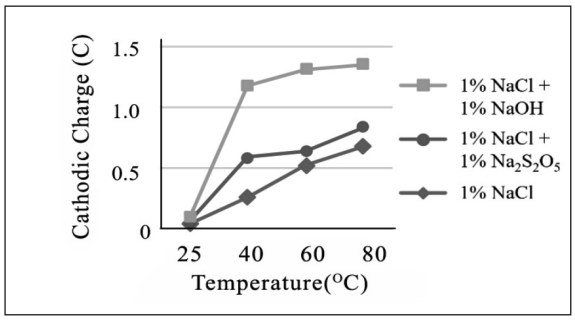


รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าแคโทดิกของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ออร์แกโนซอล

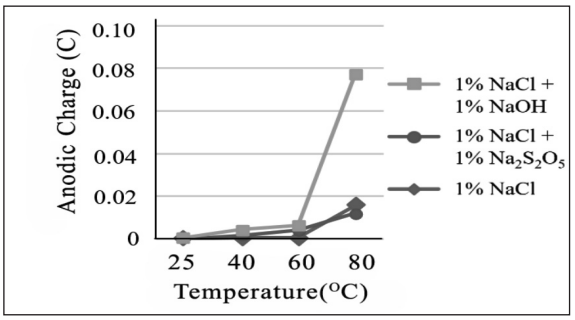
ซึ่งหมายความว่าอิเล็กตรอนที่จ่ายให้โดยใช้กระแสแคโทดิกทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจน และไฮดรอกไซด์อิออน ซึ่งแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจะทำให้ผิวเคลือบแล็กเกอร์บวมได้ หากความดันใต้ผิวเคลือบมากกว่าความดันภายนอก ผิวแล็กเกอร์ก็จะแตกออกได้ ส่วนไฮดรอกไซด์อิออน ทำให้แล็กเกอร์เสียสภาพได้ ถ้าประจุไฟฟ้าแคโทดิกมีปริมาณน้อยย่อมแสดงว่า น้ำจากสารละลายสามารถซึมผ่านผิวแล็กเกอร์มารับอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะได้ยาก ถ้าประจุไฟฟ้าแคโทดิกมีปริมาณมากแสดงว่าน้ำหรือสารละลายสามารถแพร่ผ่านมารับอิเล็กตรอนที่ผิวเหล็กได้ง่าย

จากรูปที่ 11 ถึงรูปที่ 13 จะเห็นว่าประจุไฟฟ้าแคโทดิกของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล มีค่าประจุไฟฟ้าแคโทดิกต่ำที่สุดแสดงว่าสารละลายสามารถซึม

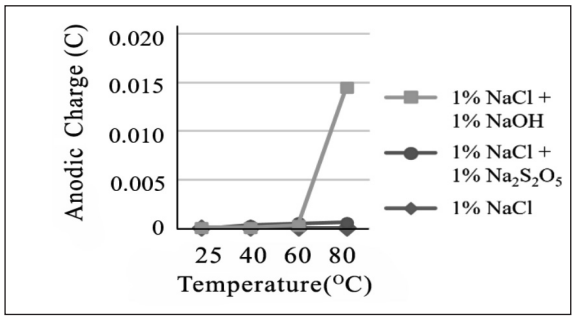
-17-0000(207-216)P5.indd 213 4/10/61 BE 2:33 PM



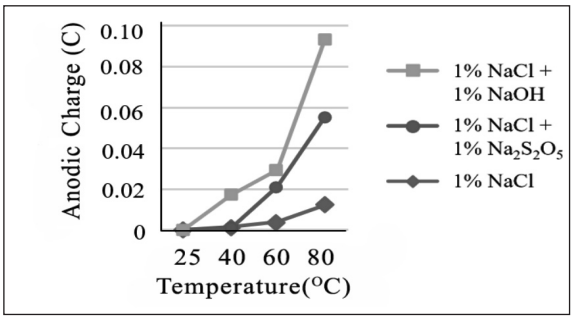
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าแคโทดิกของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก



รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าแอโนดิกของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ออร์แกโนซอล



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าแอโนดิกของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล



รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าแอโนดิกของกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก

ผ่านแล็กเกอร์ไปรับอิเล็กตรอนจากโลหะได้น้อย แต่กระป๋องเคลือบแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก มีประจุไฟฟ้าแคโทดิกสูงที่สุดแสดงว่าสารละลายสามารถซึมผ่านแล็กเกอร์ชนิดนี้ไปรับอิเล็กตรอนจากโลหะได้มาก

3.4 ผลการเปรียบเทียบค่าประจุไฟฟ้าแอโนดิก

การทดสอบด้วยเทคนิคแอโนดิกโพลาไรเซชันเป็นวิธีศึกษาความสียหายของกระป๋องอย่างง่ายๆ เพราะผลของเทคนิคนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดการลอกล่อนของแล็กเกอร์แล้วสารละลายสามารถสัมผัสผิวโลหะของตัวกระป๋องได้โดยตรง มันจะทำให้กระป๋องโลหะเกิดการละลายได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เทคนิคนี้จึงเป็นเทคนิคที่ง่ายต่อการใช้งานและไม่ยุ่งยากเท่าเทคนิค EIS โดยที่เทคนิคนี้จะทำให้ชิ้นงานกระป๋องซึ่งเป็นขั้วทำงานทำหน้าที่เป็นแอโนด ซึ่งหมายความว่าเมื่อผิวหน้าโลหะได้สัมผัสกับสารละลายแล้วเกิดการละลายและคายอิเล็กตรอนออกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าแอโนดิก ตามสมการที่ (2)

$$M \longrightarrow M^{n+} + ne^- \qquad (2)$$

จากรูปที่ 14 ถึงรูปที่ 16 จะเห็นว่ากระป๋องเคลือบแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก มีค่าประจุไฟฟ้าแอโนดิกสูงที่สุด แสดงว่าโลหะสามารถละลายออกมาได้มากในการทดสอบที่อุณหภูมิสูง และในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

-17-0000(207-216)P5.indd 214 4/10/61 BE 2:33 PM

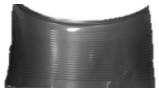
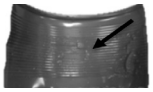
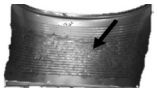
3.5 ผลจากภาพถ่ายหลังการทดสอบ

ผลจากภาพถ่ายแสดงให้เห็นว่ากระป๋องเคลือบแล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล ไม่พบความเสียหายในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ยกเว้นที่ 80°C ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

กระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ออร์แกโนซอลพบความเสียหายในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 80°C และในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ พบความเสียหายตั้งแต่อุณหภูมิ 60°C และในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์ เริ่มพบความเสียหายที่อุณหภูมิ 40°C

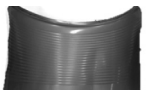
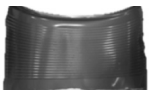
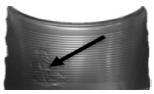
กระป๋องเคลือบแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิกเริ่มพบความเสียหายในสารละลาย 1% โซเดียมคลอไรด์ และสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่อุณหภูมิ 40°C แต่ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์ เริ่มพบความเสียหายตั้งแต่อุณหภูมิห้องหลังทำแคโทดิกดีลามิเนชัน ผลจากภาพถ่ายแสดงให้เห็นชัดเจนว่าแล็กเกอร์ที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูง และทนต่อปฏิกิริยารีดักชันได้ดีที่สุด คือแล็กเกอร์ชนิดใด โดยจะแสดงรูปหลังการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 40°C, 60°C และ 80°C ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งการทดสอบในสารละลายนี้จะแสดงผลชัดเจนที่สุด (ตารางที่ 2–5)

ตารางที่ 2 ภาพถ่ายกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ 3 ชนิด หลังทำแคโทดิกดีลามิเนชันเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล	ออร์แกโนซอล	อีพ็อกซี-ฟีนอลิก
		

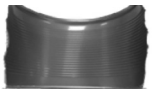
จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิกเกิดการบวมขึ้นบางจุด แม้จะทดสอบที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3 ภาพถ่ายกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ 3 ชนิด หลังผ่านการทำแคโทดิกดีลามิเนชัน พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 10 นาที ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล	ออร์แกโนซอล	อีพ็อกซี-ฟีนอลิก
		

จากตารางที่ 3 เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 40°C พบว่าแล็กเกอร์ออร์แกโนซอลเริ่มแสดงความเสียหายเป็นจุด แต่แล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟีนอลิก มีพื้นที่เสียหายมากกว่าการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง

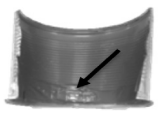
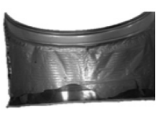
ตารางที่ 4 ภาพถ่ายกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ 3 ชนิด หลังผ่านการทำแคโทดิกดีลามิเนชัน พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 10 นาที ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล	ออร์แกโนซอล	อีพ็อกซี-ฟีนอลิก
		

จากตารางที่ 4 เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าแล็กเกอร์ออแกโนซอล และอีพ็อกซี-ฟีนอลิก เกิดการบวมทั่วตัวกระป๋อง

-17-0000(207-216)P5.indd 215 4/10/61 BE 2:33 PM

ตารางที่ 5 ภาพถ่ายกระป๋องเคลือบแล็กเกอร์ 3 ชนิด หลังผ่านการทำแคโทดิกดีลามิเนชัน พร้อมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 10 นาที ในสารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล	ออร์แกโนซอล	อีพ็อกซี-ฟินอลิก
		

จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 80°C (ตารางที่ 5) พบว่า แล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล เริ่มเกิดการบวมเป็นบางจุด แต่แล็กเกอร์ออร์แกโนซอล และอีพ็อกซี-ฟินอลิก เกิดการลอกล่อนชัดเจน ซึ่งผลจากภาพถ่ายสอดคล้องกับผลการทดสอบทางเคมีไฟฟ้าทั้งสิ้น

4. สรุป

แล็กเกอร์ที่มีความสามารถในการป้องกันผิวโลหะสูงที่สุดคือ แล็กเกอร์พอลิเอสเตอร์/ออร์แกโนซอล ส่วนแล็กเกอร์ที่มีความสามารถในการป้องกันผิวโลหะต่ำที่สุดคือ แล็กเกอร์อีพ็อกซี-ฟินอลิก

สารละลายที่ทำให้แล็กเกอร์ลอกล่อนมากที่สุด คือ สารละลายผสม 1% โซเดียมคลอไรด์กับ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์

การทดสอบที่แสดงความแตกต่าง หรือเห็นผลชัดเจนที่สุด คือ 60°C พร้อมทำแคโทดิกดีลามิเนชัน โดยการจ่ายศักย์ไฟฟ้า –6 โวลต์ เป็นเวลา 10 นาที

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบด้วยเทคนิคแอโนดิคโพลาไรเซชันสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการทดสอบด้วยเทคนิค EIS ทำให้คณะผู้วิจัยเชื่อว่าในกรณีที่หน่วยงานหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการทดสอบการลอกล่อนด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า ด้วยวิธีการของ ACET หน่วยงานหรือโรงงานนั้นอาจใช้เทคนิคแอโนดิคโพลาไรเซชัน แทนเทคนิค EIS ก็ได้ (แต่เทคนิคแคโทดิคดีลามิเนชันต้องคงไว้) สำหรับกรณีที่ขาดอุปกรณ์หรือความชำนาญในการใช้งานและแปรผล

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ โรงงานโลหะกิจรุ่งเจริญทรัพย์ ที่สนับสนุนชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด สำหรับใช้ในการทดสอบเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อแลกเกอร์ชนิดต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Food Network Solution. (2105, May 28). Food Wiki. Food Network Solution Co., Ltd. [Online]. Available: http://www.foodnetworksolution.com

[2] A. De Vooys, B. Boelen, and D. Van der Weijde, "Screening of coated metal packaging cans using EIS," *Progress in Organic Coating,* vol. 73, no. 2–3, pp. 202–210, 2012.

[3] A. Herzka, "Technical aspects of aerosol packaging," *Journal of The Society of Cosmetic Chemists,* vol. 7, no. 4, pp. 120–131, 1956.

[4] Epoxy Technology Inc. (2016, July 6). Tg - Glass Transition Temperature for Epoxies. Epoxy Technology Inc. Billerica, MA 01821 [Online]. Available: http:// http://www.epotek.com/site/files/Techtips/pdfs/tip23.pdf

[5] E. O. Eltai, J. D. Scantlebury, and E. V. Koroleva, *"Protective properties of intact unpigmented epoxy coated mild steel under cathodic protection," Progress in Organic Coatings,* vol. 73, pp. 8–13, 2013.

-17-0000(207-216)P5.indd 216 4/10/61 BE 2:33 PM